

2. DETERMINACION DE LAS ACCIONES

Las acciones a considerar son la gravedad y el viento actuando sobre el conjunto báculoluminaria. La Norma autoriza a concentrar ambas cargas en puntos separados por una distancia no mayor a 2 metros. Esto sugiere inmediatamente un modelo de estructura constituido por el ensamblaje de varios tramos rectos de características mecánicas constantes y sobre los que actúan fuerzas repartidas uniformes.

El tratamiento del peso propio no requiere mayor atención y es el cálculo de la presión de viento el que requiere un cierto cuidado. Su valor viene dado por una serie de coeficientes en los que interviene:

- * Las características globales de la estructura (tipo, situación geográfica y local, altura total, periodo propio...).
- * Las características de cada elemento (altura respecto a la referencia, forma, dimensiones...).

Exceptuando el periodo, se trata de parámetros cuya obtención no conlleva mayor dificultad que la derivada del manejo de un volumen relativamente importante de información.

Así planteado, el problema se centra en adaptar un método de análisis que proporcione una estimación fiable de la frecuencia fundamental y que requiera la menor capacidad de cálculo posible.

Su descripción se aborda en el apartado siguiente.

3. OBTENCION DEL PERIODO FUNDAMENTAL

Desde un principio se rechazaron los habituales métodos iterativos de cálculo dado su elevado coste computacional, impracticable para el tipo de ordenador disponible.

Las estimaciones basadas en la asimilación a sistemas simples daban lugar a una casuística tan extensa que resultaban asimismo impracticables.

Así las cosas, el método de Rayleigh parecía la solución más adecuada a condición de conseguir una deformada barata y razonablemente parecida al primer modo. En este sentido, sería posible utilizar la deformada causada por las acciones de proyecto, peso y viento. Ahora bien, los valores del viento son desconocidos "a priori" y el peso no garantiza una deformada en los modos más bajos.

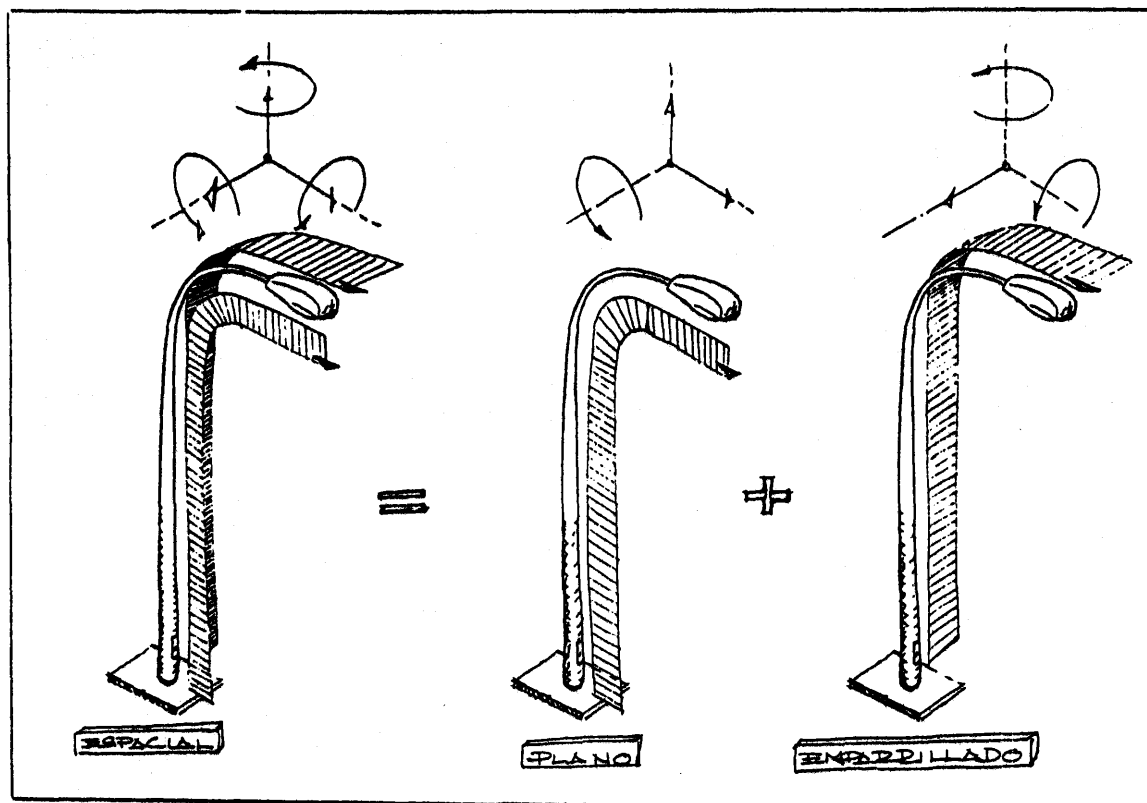


Fig. 2

Finalmente, la solución adoptada deriva del hecho de tratarse de estructuras planas. En estas, como es bien sabido, fuerzas y desplazamientos en su plano (acciones y desplazamientos de "pórtico plano") están desacopladas del resto (acciones y desplazamientos de "emparrillado"). Ello permite dividir el problema en dos partes.

Para los modos contenidos en el plano de la estructura se considera la deformada producida por el peso propio.

Para los modos que afectan a los grados de libertad de emparrillado se considera la deformada producida por una carga de viento perpendicular a la estructura y en la que el valor del coeficiente dependiente del periodo se ha hecho unidad.

Este artificio permite una estimación muy aproximada del primer modo sin prácticamente ningún trabajo adicional a la resolución estática del problema. El proceso seguido se explica con mayor detalle en el siguiente apartado.

4. METODO DE ANALISIS

La automatización del proceso comentado dió lugar a un sencillo programa de ordenador cuyo esquema está representado en la figura 3. Cada paso se comenta a continuación.

4.1.- Entrada de Datos. Concebida como programa independiente no reside en memoria. Está constituida por una serie de subrutinas que manejan ficheros en disco de forma autónoma.

4.2.- Determinación de las Cargas. A partir de una división prefijada en elementos de características constantes forma el vector de cargas. Para las fuerzas de viento, proporcionales al coeficiente $\beta(\beta=\beta(T)$, función del periodo), toma éste con valor 1.

4.3.- Obtención de esfuerzos y desplazamientos. Se utilizó el cálculo matricial de estructuras en su forma más básica. La isostaticidad de la estructura indujo en un principio a pensar en algún método directo más simple, pero todos los intentos en esa dirección daban lugar finalmente a algoritmos más costosos.

4.4.- Obtención del periodo. Para cada problema desacoplado se calcula el cociente de Rayleigh en la forma:

$$\omega^2 = g \frac{\sum_i P_i v_i}{\sum_i P_i (u_i^2 + v_i^2)} ; \quad i = 1, \dots, N^o \text{ de nudos}$$

para los modos en su plano, y:

$$\omega^2 = g \frac{\sum_i P_i^v w_i}{\sum_i P_i w_i^2} ; \quad i = 1, \dots, N^o \text{ de nudos}$$

1	ENTRADA DE DATOS
2	DETERMINACION DE CARGAS ($\beta=1$)
3	OBTENCION DE ESFUERZOS
4	CALCULO DEL PERIODO
5	CALCULO DE ESFUERZOS DE "EMPARRILLADO"
6	CALCULO DE TENSIONES
7	CALCULO DE ACCESORIOS
	SALIDA DE RESULTADOS

Fig. 3

Donde:

P_i = Carga de peso en cada nudo.

P_i^v = Carga de viento en cada nudo.

u, v, w : Desplazamientos del nudo.

g = Aceleración de la gravedad.

4.5.- Cálculo de la solución de emparrillado. A partir del período es inmediata la obtención del coeficiente β (dado en forma de tablas). Un simple lazo de iteración multiplica todos los resultados de emparrillado por este valor.

4.6.- Cálculo de Tensiones. En todas las secciones circulares la obtención de tensiones no conlleva la menor dificultad. Más problemática resulta en cambio la sección correspondiente a los registros, caso de existir. Estos consisten en aberturas practicadas en la base de la columna y cuyo efecto se estudia en los apartados que siguen.

4.7.- Cálculo de accesorios. Verifica la validez de los refuerzos del registro, placa de anclaje, pernos, etc...

5. EL PROBLEMA DE LOS REGISTROS. DESCRIPCION

En el modelo presentado hasta el momento no se ha tenido en cuenta el efecto de los registros. Estos consisten (figura 4) en aberturas practicadas en la base de los candelabros de forma que permitan el acceso a su interior y sus dimensiones son, en algunos casos muy importantes.

Su presencia afecta al análisis de tensiones en dos formas: directamente, por la concentración local inducida en el elemento, e indirectamente, a través de la posible modificación del período de la estructura y por tanto de las cargas de viento.

Parece evidente por tanto la necesidad de rigidizar estas aberturas de forma que se minimicen los citados efectos. En los apartados que siguen se desarrollan con mayor amplitud estas ideas.

6. INFLUENCIA DE LOS REGISTROS EN EL PERIODO

Al objeto de adquirir alguna experiencia sobre la forma en que estas aberturas modifican el período de la estructura, se realizó un pequeño estudio paramétrico en el que, en base a un modelo de barras ligeramente más sofisticado que el anterior, se modificaban las características mecánicas de las que representan la sección del registro (figuras 5 a, b y c).

Al desalinear esta barra respecto al resto de la columna se pretende representar el desplazamiento del centro de gravedad de la sección abierta respecto a la cerrada.

La dos barras horizontales se suponen infinitamente rígidas y únicamente se utilizan para restablecer la continuidad del modelo.

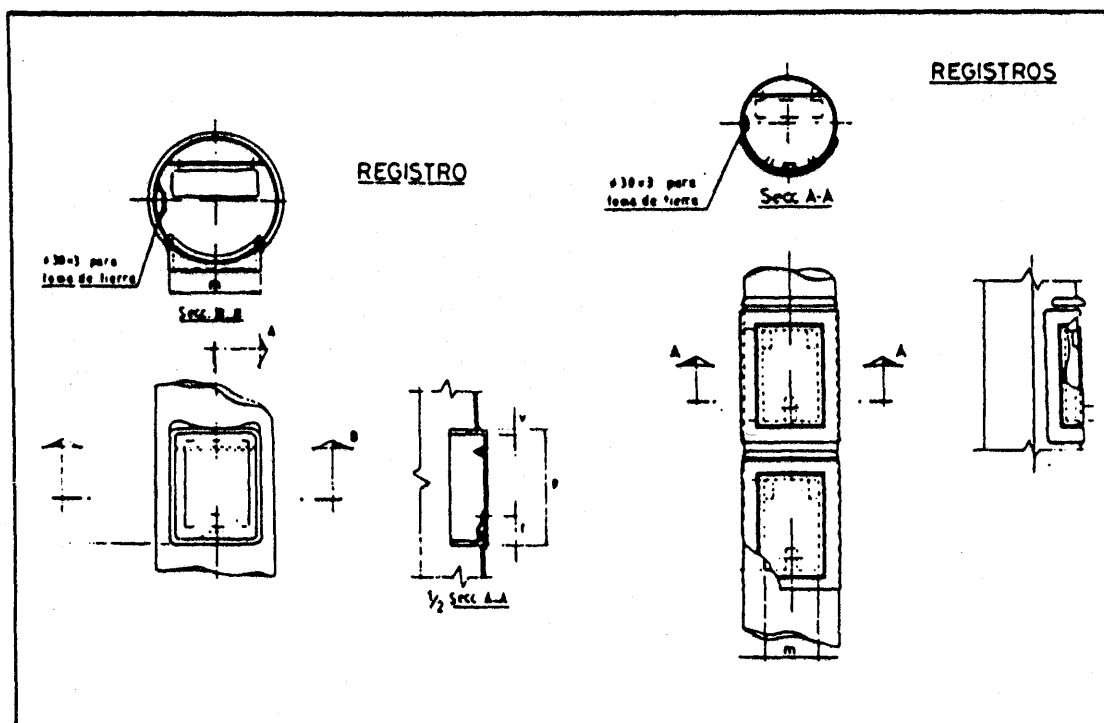


Fig. 4

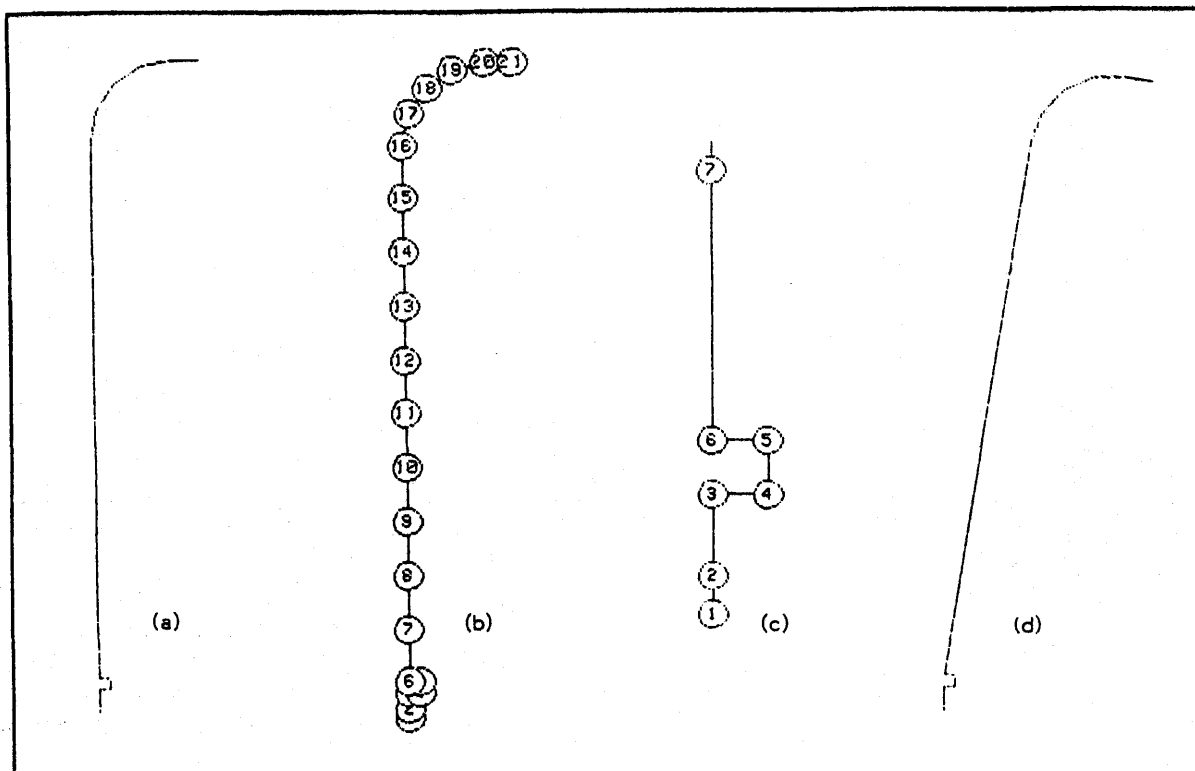


Fig. 5

Respecto a los valores obtenidos cuando no se considera registro alguno, se aprecia una lógica disminución de la rigidez y, por tanto, un aumento del período. En casos extremos se llega a situaciones como la representada en la figura 5c, donde toda la estructura gira como sólido rígido respecto al muelle.

Pretender extraer valores numéricos de un modelo tan simple resulta peligroso. Dos consecuencias parecen no obstante muy claras:

- * La presencia de estas secciones influye de forma notable en el período de la estructura.
- * La obtención de un modelo que represente de forma fiable el comportamiento de esta sección resulta desproporcionadamente costoso.

La solución adoptada consiste simplemente en reforzar esta zona de manera que se asegure una rigidez superior a la de la sección llena. Con esto se consigue anular el efecto sobre la rigidez global y reducir drásticamente el nivel de tensiones.

7. DESCRIPCION DE LAS RIGIDIZACIONES EMPLEADAS

Se han empleado dos tipos básicos de rigidización dependiendo del modelo de registro. En el primer caso (figura 4a) se trata de aberturas de dimensiones contenidas y se considera suficiente el empleo de marcos convencionales (fig.6)

Estos se dimensionan de acuerdo a las tablas típicas de la ingeniería aeronáutica y naval.

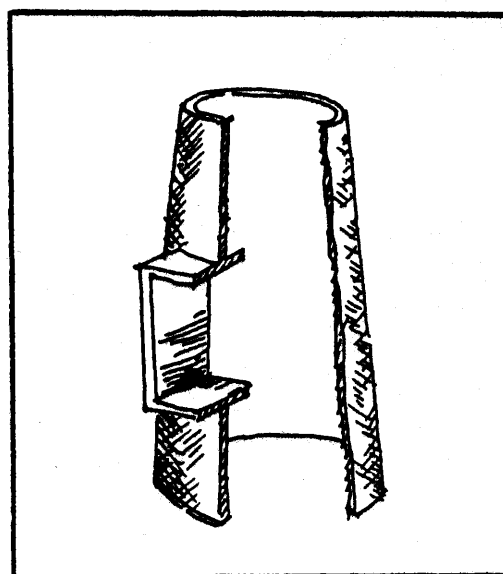


Fig. 6

El modelo representado en la figura 4.b resulta ligeramente más complejo. En este caso las dimensiones de los registros son ya muy considerables. Por imposiciones de diseño resulta asimismo imposible la instalación de marcos similares a los del modelo simple, debiendo utilizarse en todo caso refuerzos interiores.

Esto reduce notablemente las posibilidades de actuación dado que se deben respetar exigencias funcionales muy estrictas para la incorporación y sujeción del aparellaje eléctrico.

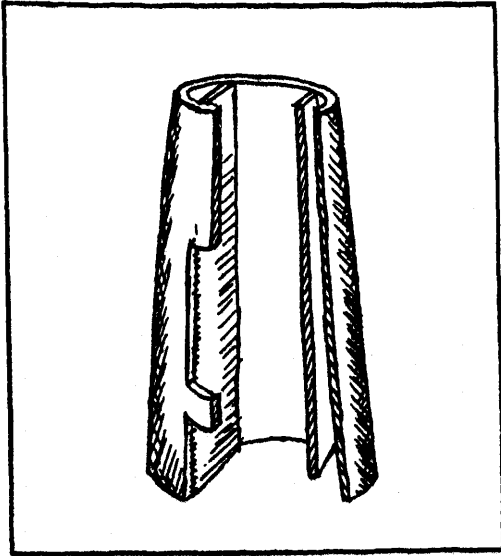


Fig. 7

Así por ejemplo, no son posibles soluciones que formen espacios cerrados (dificultan el posterior galvanizado), tampoco aquellas que impliquen soldaduras dificultosas (accesibilidad reducida), ni las que limiten el espacio interiormente (ha de quedar exenta una zona de, al menos, la superficie en alzado del registro).

La rigidización finalmente adoptada fué la representada en la figura 7.

Como puede observarse se trata de sustituir la sección inicial por un par de vigas que absorban (figura 8) los esfuerzos trabajando únicamente a flexión y compresión.

Con esta disposición se consigue dar a las cargas una trayectoria relativamente clara, que permite una aproximación al estudio de la rigidez mediante la teoría básica de vigas. Estos resultados se han contrastado utilizando un modelo más sofisticado y más completo. Con este fin se realiza un estudio paralelo utilizando el método de los elementos finitos (en la figura 9 se muestra la discretización empleada).

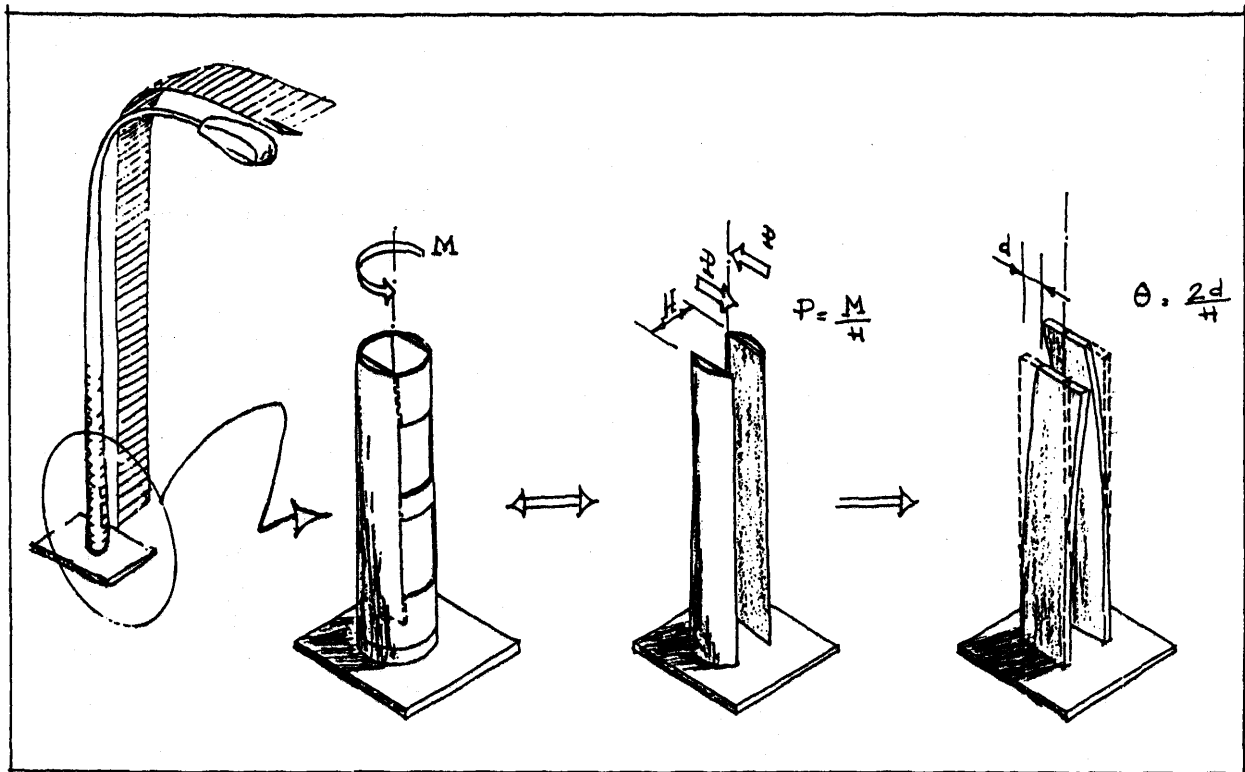
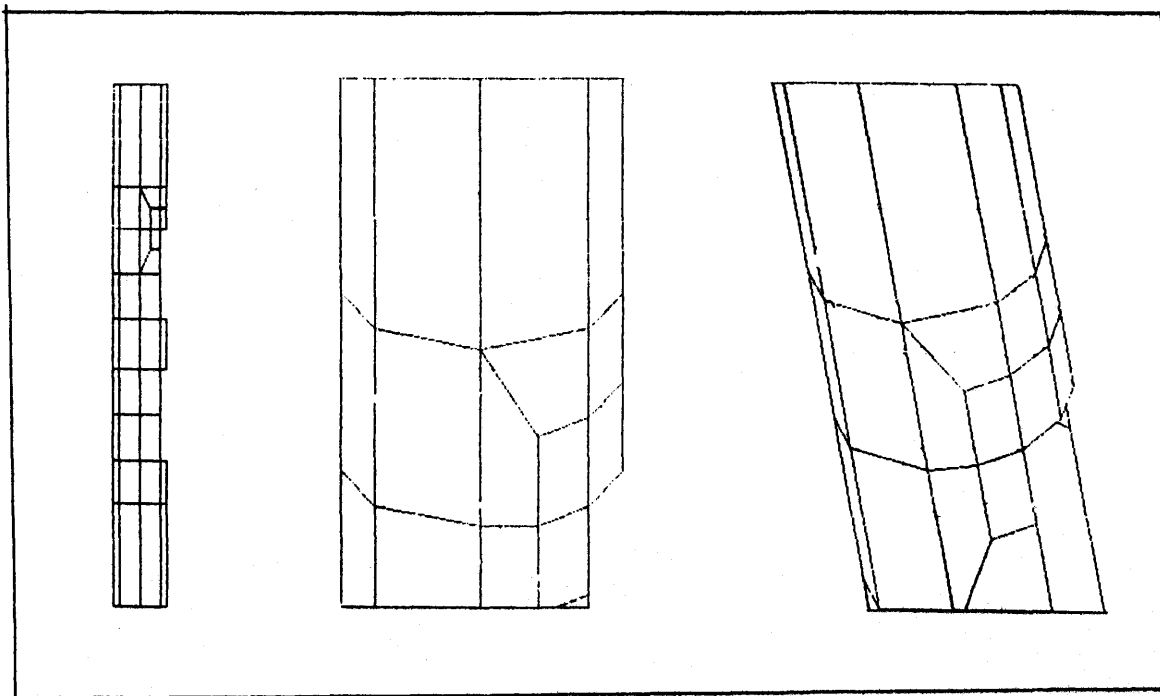


Fig. 8

Como resumen, se trata de formular un modelo sencillo, que permita la obtención rápida de resultados para cada uno de los tipos y di-

mensiones consideradas. Una segunda aproximación más completa permite ajustar parámetros en cada familia de ensayos.



8. AGRADECIMIENTOS

Los autores desean dejar constancia de su agradecimiento a la "ASOCIACION ESPAÑOLA DE FABRICANTES DE CANDELABROS METALICOS", en especial a D. José Torres y a D. Vicente Gil por plantear el problema y por el apoyo prestado.

9. REFERENCIAS

1. Norma UNE-72-401-81 (Definiciones y Términos)
2. Norma UNE-72-402-80 (Dimensiones y Tolerancias).
3. Norma UNE-72-406-84 (Cálculo de cargas y análisis).
4. Norma UNE-72-408-84 (Verificación del proyecto mediante ensayo).
5. Boletín Oficial del Estado. Orden del 11 de julio de 1986, del Ministerio de Industria y Energía.
6. Alarcón, E., Alvarez, R., Gómez, S.: "GUIA DE APLICACION DE LA NORMA UNE-72-406-84 AL CALCULO DE CANDELABROS". Informe para la Asociación Española de Fabricantes de Candelabros.
7. Alarcón, E., Alvarez, R., Gómez, S., Cerrolaza, M.: "ANALISIS DE RIGIDIZACION DEL REGISTRO EN MODELOS AB-13 DE CANDELABRO". Informe para la Asociación Española de Fabricantes de Candelabros.